

超高效液相色谱-串联质谱法测定动物源性食品中的金刚烷胺

仲伶俐, 郭灵安*, 付成平, 李曦, 雷欣宇, 赵珊, 李华仙

(四川省农业科学院分析测试中心, 成都 610066)

摘要: **目的** 建立超高效液相色谱-串联质谱法(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)测定动物源性食品(鸡肉、鸡肝、鸡蛋和牛奶)中金刚烷胺的分析方法。**方法** 样品用 0.2%(V:V)甲酸乙腈溶液提取, 经 Oasis PRiME HLB 小柱净化后用 Capcell Pak C₁₈ MGIII-H 色谱柱分离, 以甲醇和 0.1%甲酸水溶液(V:V)作为流动相进行梯度洗脱, 在多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式下进行液相色谱-串联质谱法测定, 基质匹配标准溶液外标法定量。**结果** 金刚烷胺在 1.0~50.0 µg/L 范围内线性关系良好($r^2=0.9994$)。在添加水平为 1.0, 5.0 和 20.0 µg/kg 时的回收率为 76.3%~93.5%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)在 3.4%~8.6%之间, 方法的检测限(limit of detection, LOD)为 0.2 µg/kg, 定量限(limit of quantification, LOQ)为 1.0 µg/kg。**结论** 该方法简便、灵敏、准确, 适合于动物源性食品中金刚烷胺的快速分析测定。

关键词: 超高效液相色谱-串联质谱法; 金刚烷胺; 动物源性食品

Determination of amantadine in animal derived food by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

ZHONG Ling-Li, GUO Ling-An*, FU Cheng-Ping, LI Xi, LEI Xin-Yu, ZHAO Shan, LI Hua-Xian

(Analysis and Testing Center of Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for determination of amantadine in animal derived food (chicken, chicken liver, egg and milk) by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS). **Methods** The samples were extracted with 0.2% formic acid-acetonitrile (V:V), and purified by Oasis PRiME HLB cartridges, then they were separated on an Capcell Pak C₁₈ MGIII-H column with methanol and 0.1% formic acid (V:V) as the mobile phases in gradient program. The analytes were determined by MS/MS under multiple reaction monitoring (MRM) mode, and quantified by matrix-matched external standard method. **Results** There were good linearities between the peak areas and the concentrations in the range of 1.0-50.0 µg/L, with correlation coefficients (r^2) more than 0.9994. The recoveries of amantadine were 76.3%-93.5% at the spiked levels of 1.0, 5.0 and 20.0 µg/kg, and the relative standard deviations (RSDs) were 3.4%-8.6%. The limit of detection (LOD) for the established method was 0.2 µg/kg, and the limit of quantity (LOQ) was 1.0 µg/kg. **Conclusion** The method is simple, sensitive and accurate, which is suitable for determination of amantadine in animal derived food.

*通讯作者: 郭灵安, 副研究员, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: gla028@163.com

*Corresponding author: GUO Ling-An, Associate Professor, Analysis and Testing Center of Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China. E-mail: gla028@163.com

KEY WORDS: ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry; amantadine; animal derived food

1 引言

金刚烷胺是金刚烷的衍生物,属于三环胺类,可以通过干扰 M2 病毒蛋白来治疗甲型流感病毒感染。除了用做抗病毒药物,临床上还被用于治疗帕金森综合征、丙型肝炎和多发性硬化症^[1,2]。包括我国在内的许多国家已明确禁止在家禽生产中使用金刚烷胺,但在家禽(特别是鸡)养殖中仍然被非法使用^[3,4]。

目前文献报道的金刚烷胺测定方法主要有气相色谱法(gas chromatography, GC)^[1]、液相色谱法(liquid chromatography, LC)^[5]、液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)法^[2,3,6-10]、超高效液相-四级杆飞行时间质谱法(ultra performance liquid chromatography-quadrupole-time of flight mass spectrometry, UPLC-QTOF/MS)^[11,12]和超高效液相色谱-线性离子阱/静电场轨道阱高分辨质谱法(ultra performance liquid chromatography-linear ion trap/electrostatic field orbitrap high resolution mass spectrometry, UPLC-LTQ/Orbitrap MS)^[13]。涉及的样品基质主要是肌肉组织^[3,6-8,10-13]、鸡蛋^[8-10]和牛奶^[3,10,12]等动物源性食品,以及生物体液(血浆和尿液)^[1,5]。LC-MS/MS 法因兼具色谱的强大分离功能和质谱的准确鉴别功能,在金刚烷胺测定中应用最为广泛。

动物源性食品基质中主要干扰物质为脂肪、磷脂和蛋白质等,前处理方法一般采用 C₁₈ 或阳离子交换固相萃取(solid phase extraction, SPE)小柱净化或 QuEChERS 法净化。采用普通的固相萃取小柱净化时,需要活化、平衡、上样、淋洗、洗脱等程序,操作繁琐,使用试剂种类多,消耗时间长。QuEChERS 净化法简单、快速,目前被广泛用于植物性食品中农药多残留样品的净化,但其对动物源性食品中干扰杂质如磷脂和蛋白质的去除效果并不理想。本研究采用一种通过式的固相萃取净化方法,建立简单、快速分析鸡肉、鸡肝、鸡蛋和牛奶中金刚烷胺的超高效液相色谱-串联质谱方法(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)。

2 材料与方法

2.1 仪器与设备

8040 LC-MS/MS 超高效液相色谱-串联质谱仪(日本岛津公司); WH-3 微型涡旋混合仪(上海沪西分析仪器有限公司); TG-16 台式高速离心机(四川蜀科仪器有限公司); N-EVAP-112 氮吹浓缩仪(美国 Organomation Associates,

Inc.公司); DT-1002A 电子天平(常熟市金羊砝码仪器有限公司); 0.22 μm 有机尼龙微孔滤膜(天津津腾实验设备有限公司)。

2.2 材料与试剂

金刚烷胺标准品(纯度 98.5%, 北京曼哈格生物科技有限公司); 甲酸(色谱纯, 上海安谱实验科技股份有限公司); 甲醇、乙腈(色谱纯, 美国 Fisher 公司); Oasis PRiME HLB 固相萃取小柱(60 mg/3 mL, 美国 Waters 公司); 实验用水(优普超纯水系统制备); 鸡肉、鸡肝、鸡蛋和牛奶购于市场。

2.3 实验方法

2.3.1 标准溶液的配制

标准储备液: 准确称取金刚烷胺 10.0 mg 于 100 mL 容量瓶中, 用甲醇溶解并定容, 定容至刻度, 配制成 100 mg/L 的标准储备溶液, 贮存于密闭的棕色玻璃瓶中。

混合标准中间液: 取上述标准储备液 1 mL, 用甲醇配制成质量浓度为 1.0 mg/L 的标准中间溶液, 于 4 °C 下避光存储。

2.3.2 样品提取和净化

鸡肉、鸡肝: 称取 2.00 g 粉碎好的试样于 50 mL 离心管中, 加入 8.0 mL 0.5% (V:V) 甲酸-乙腈溶液, 涡旋 1 min, 超声震荡 10 min, 5000 r/min 离心 5 min, 上清液转移至另一个 50 mL 离心管中, 再加入 4.0 mL 0.5% (V:V) 甲酸-乙腈溶液于样品残渣中重复提取 1 次, 合并上清液于 50 mL 离心管中, 混匀, 移取 6 mL 提取液通过 Oasis PRiME HLB 固相萃取柱, 收集提取液于 10 mL 试管中, 40 °C 水浴中氮吹浓缩至干, 用 1 mL 甲醇-水(1:1, V:V) 溶解残渣, 转移至 2 mL 离心管中, 加入 1 mL 正己烷, 涡旋混匀, 3000 r/min 离心 3 min, 弃去正己烷层, 再加入 1 mL 正己烷, 重复操作 1 次, 下层样品溶液经 0.22 μm 微孔滤膜过滤后, 供超高效液相色谱-串联质谱测定。

鸡蛋: 去壳, 均质混匀, 称取 2.00 g 试样于 50 mL 离心管中, 加入 8.0 mL 0.5% (V:V) 甲酸-乙腈溶液, 涡旋 1 min, 超声震荡 10 min, 5000 r/min 离心 5 min, 上清液转移至另一个 50 mL 离心管中, 再加入 4.0 mL 0.5% (V:V) 甲酸-乙腈溶液于样品残渣中重复提取 1 次, 合并上清液于 50 mL 离心管中, 混匀, 移取 6 mL 提取液于 15 mL 离心管中, 加入 6 mL 正己烷, 混匀后 3000 r/min 离心 3 min, 弃去正己烷层, 将提取液通过 Oasis PRiME HLB 固相萃取柱, 收集提取液于 10 mL 试管中, 40 °C 水浴中氮吹浓缩至干, 用 1 mL 甲醇-水(1:1, V:V) 溶解残渣, 转移至 2 mL 离心管中,

加入 1 mL 正己烷, 涡旋混匀, 3000 r/min 离心 3 min, 弃去正己烷层, 再加入 1 mL 正己烷, 重复操作 1 次, 下层样品溶液经 0.22 μm 微孔滤膜过滤后, 供超高效液相色谱-串联质谱测定。

牛奶: 称取 2.00 g 牛奶试样于 50 mL 离心管中, 加入 10.0 mL 0.5% (V:V) 甲酸-乙腈溶液, 涡旋 1 min, 超声震荡 10 min, 5000 r/min 离心 5 min, 移取 6 mL 提取液通过 Oasis PRiME HLB 固相萃取柱, 收集提取液于 10 mL 试管中, 40 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中氮吹浓缩至干, 用 1 mL 甲醇-水(1:1, V:V) 溶解残渣, 转移至 2 mL 离心管中, 加入 1 mL 正己烷, 涡旋混匀, 3000 r/min 离心 3 min, 弃去正己烷层, 再加入 1 mL 正己烷, 重复操作 1 次, 下层样品溶液经 0.22 μm 微孔滤膜过滤后, 供超高效液相色谱-串联质谱测定。

2.3.3 色谱条件

色谱柱为资生堂 Capcell Pak C₁₈ MG III-H 色谱柱 (2.0 mm \times 100 mm, 3 μm); 流速: 0.4 mL/min; 柱温 40 $^{\circ}\text{C}$; 进样量 5 μL ; 流动相 A 为甲醇, 流动相 B 为 0.1%(V:V) 甲酸水溶液, 0~0.5 min, 85%B; 0.5~2.0 min, 85%B~50%B; 2.0~3.5 min, 50%B~25%B; 3.5~3.6 min, 25%B~85%B; 3.6~5.0 min, 85%B。

2.3.4 质谱条件

电喷雾电离正离子模式(ESI+); 扫描模式: 多反应监测 (multiple reaction monitoring, MRM); 雾化气流速: 3 L/min; DL 温度: 300 $^{\circ}\text{C}$; 加热模块温度: 500 $^{\circ}\text{C}$; 干燥气流速: 20 L/min; MRM 参数见表 1。

表 1 金刚烷胺的 MRM 质谱参数
Table 1 MS parameters in multiple reaction monitoring for amantadine

化合物	前体离子 (m/z)	产物离子 (m/z)	Q1 预偏置电压 (V)	碰撞能 (V)	Q3 预偏置电压 (V)
金刚烷胺	152.15	135.15*	-30.0	-24.0	-30.0
		93.10	-30.0	-29.0	-16.0

注: *定量离子。

3 结果与分析

3.1 提取、净化方法的选择

鸡肉、鸡肝、鸡蛋和牛奶样品中的主要基质干扰物为脂肪、磷脂和蛋白质, 为了提高检测灵敏度, 降低基质干扰, 需要将样品进行适当的净化和浓缩。因金刚烷胺在乙腈中的溶解性较好, 且乙腈有一定沉淀蛋白的作用, 同时能够减少对样品中脂肪的提取, 故选择乙腈为提取溶剂。为了实现简单、快速的分析, 选择对磷脂和蛋白具有很好去除作用, 且无需活化平衡, 即可直接上样的 Oasis PRiME HLB 小柱进行样品的净化。通过加标回收试验比较发现, 采用乙腈为提取溶剂时, 金刚烷胺经 Oasis PRiME

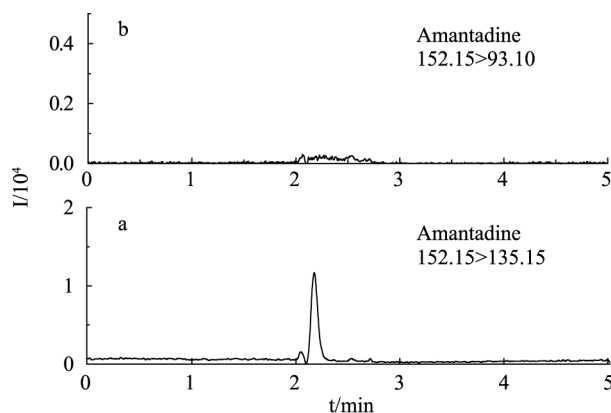
HLB 小柱净化后回收率不到 10%, 用 0.2%(V:V) 甲酸乙腈提取时金刚烷胺在 200 mg/6 mL 的 Oasis PRiME HLB 小柱上基本无回收, 但在 60 mg/3 mL 的 Oasis PRiME HLB 小柱上能获得满意的回收率。因此, 试验确定以 0.2%(V:V) 甲酸乙腈溶液提取样品, 60 mg/3 mL 的 Oasis PRiME HLB 小柱净化。净化后的样液经浓缩、定容后再用正己烷进一步除脂肪。由于鸡蛋尤其是蛋黄中脂肪含量较高, 提取液先用正己烷除脂肪, 再通过 Oasis PRiME HLB 小柱净化, 浓缩、定容后进一步除脂肪, 能够获得更好的净化效果。

3.2 色谱条件的选择

金刚烷胺在 C₁₈ 色谱柱上易保留, 且呈碱性, 试验选择在酸性条件下对碱性化合物有良好保留重现性, 兼具高分离能力和高耐压性的 Capcell Pak C₁₈ MGIII-H (2.0 mm \times 100 mm, 3 μm) 色谱柱。流动相的选择比较了水-甲醇、水-乙腈、0.1% 甲酸水溶液-甲醇、0.1% 甲酸水溶液-乙腈不同组成下的色谱峰形及响应值, 水-甲醇和水-乙腈为流动相时峰形较差, 0.1% 甲酸水溶液-乙腈比 0.1% 甲酸水溶液-甲醇为流动相时的峰响应低, 因此选择 0.1% 甲酸水溶液-甲醇为流动相。经过提取和净化的样品中仍然会存在可能对金刚烷胺离子碎片产生干扰的杂质峰, 为了使定性和定量更加准确, 需要采用合适的色谱条件使杂质峰与金刚烷胺获得很好的分离。经实验, 最终确定以 0.1% 甲酸水溶液-甲醇为流动相, 0.4 mL/min 流速和 40 $^{\circ}\text{C}$ 柱温下梯度洗脱(梯度条件见"2.3.3"), 从空白鸡肉样品的 MRM 图谱(图 1)和空白鸡肉中添加金刚烷胺的 MRM 图谱(图 2)可以看出, 此条件下, 金刚烷胺能获得良好的色谱峰形, 且能在较短的分析时间内与杂质分离完全, 同时减少强保留杂质在色谱柱中的积累。

3.3 质谱条件的确定

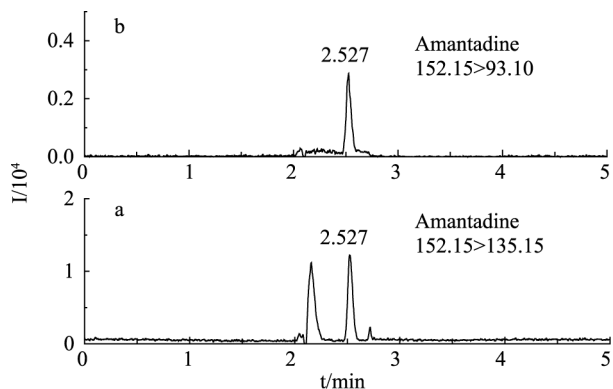
根据金刚烷胺的结构, 采用电喷雾正离子模式(ESI+),



注: a: 金刚烷胺(152.15>135.15); b: 金刚烷胺(152.15>93.10)。

图 1 空白鸡肉样品的 MRM 图谱

Fig. 1 MRM chromatograms of blank chicken sample



注: a: 金刚烷胺(152.15>135.15); b: 金刚烷胺(152.15>93.10)。

图2 空白鸡肉中添加金刚烷胺的MRM图谱(1.0 μg/kg)

Fig. 2 MRM chromatograms of blank chicken spiked with amantadine (1.0 μg/kg)

并在流动相中加入甲酸促进电离。用1 μg/mL的金刚烷胺标准溶液进行全扫描,得到最高的离子峰为152.15 m/z 分子离子,确定为母离子。对母离子进行子离子全扫并优化MRM参数,选择2个相对丰度较高的特征离子135.15 m/z 和93.10 m/z 作为定量离子和定性离子,分析时再结合化合物保留时间等信息,进行定性、定量分析。金刚烷胺的MRM参数见表1。

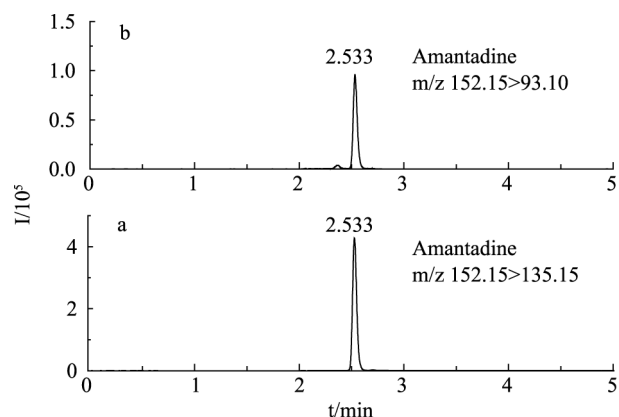
3.4 线性范围、检测限、定量限、回收率和精密度

配制金刚烷胺的质量浓度为1.0、2.0、5.0、10.0、20.0、50.0 μg/L的系列标准溶液进行测定。以定量离子的峰面积对质量浓度做回归曲线,回归方程为 $Y=62295.9X+37988.9$,在1.0~50.0 μg/L范围内金刚烷胺的线性关系良好($r^2=0.9994$)。以信噪比大于等于3($S/N \geq 3$),确定鸡肉、鸡肝、鸡蛋和牛奶中金刚烷胺的检测限(limit of detection, LOD)为0.2 μg/kg。以信噪比大于等于10($S/N \geq 10$),确定鸡肉、鸡肝、鸡蛋和牛奶中金刚烷胺的定量限(limit of quantification, LOQ)为1.0 μg/kg。用鸡肉等试样进行添加回收率和精密度试验,添加水平为1.0、5.0和20.0 μg/kg,按照本方法对加标样品进行前处理和测定,每个添加水平测定6次,方法平均回收率为76.3%~93.5%,相对标准偏

差(relative standard deviation, RSD)为3.4%~8.6%,回收率及精密度结果见表2。

3.5 实际样品测定

对35份样品进行测试,包括10份鸡肉样品,5份鸡肝样品,10份鸡蛋样品,10份牛奶样品。结果有1份鸡肉样品检出金刚烷胺29.1 μg/kg,2份鸡肝样品检出金刚烷胺分别为22.4 μg/kg和91.3 μg/kg,其余鸡肉、鸡肝样品未检出金刚烷胺,所测鸡蛋样品和牛奶样品均未检出金刚烷胺残留。同时将阳性鸡肝样品用DB32/T 1163-2007方法^[14](内标法)测定,结果一致,阳性鸡肝样品的MRM图谱见图3。



注: a: 金刚烷胺(152.15>135.15); b: 金刚烷胺(152.15>93.10)。

图3 阳性鸡肝样品的MRM图谱

Fig. 3 MRM chromatograms of positive chicken liver sample

4 结论

本研究建立了UPLC-MS/MS测定鸡肉、鸡肝、鸡蛋和牛奶中金刚烷胺的分析方法。样品净化采用Oasis PRiME HLB小柱,这种直接通过式的净化方式简化了分析过程,提高了工作效率,在没有内标的情况下亦可准确定量。此方法简便易行,适用范围广,适用于鸡肉、鸡肝、鸡蛋及牛奶样品中金刚烷胺的测定。该方法实现动物源性食品中金刚烷胺的简单、快速分析,节省了检测时间和成本,灵敏度和准确度均能得到满意的结果。

表2 添加回收率和相对标准偏差($n=6$)
Table 2 Spiked recoveries and RSDs ($n=6$)

添加水平 (μg/kg)	鸡肉		鸡肝		鸡蛋		牛奶	
	平均回收率/%	RSD/%	平均回收率/%	RSD/%	平均回收率/%	RSD/%	平均回收率/%	RSD/%
1.0	76.3	5.6	76.9	4.3	82.4	4.3	81.1	8.6
5.0	83.4	3.7	84.2	3.7	93.5	5.2	90.8	5.8
20.0	89.9	3.4	92.7	3.8	90.1	4.9	92.3	3.7

参考文献

- [1] Farajzadeh MA, Nina N, Alizadeh-Nabil AA. Determination of amantadine in biological fluids using simultaneous derivatization and dispersive liquid-liquid microextraction followed by gas chromatography-flame ionization detection [J]. *J Chromatogr B*, 2013, 940: 142–149.
- [2] Tsuruoka Y, Nakajima T, Kanda M, *et al.* Simultaneous determination of amantadine, rimantadine, and memantine in processed products, chicken tissues, and eggs by liquid chromatography with tandem mass spectrometry [J]. *J Chromatogr B*, 2017, 1044–1045: 142–148.
- [3] 刘畅, 陈燕, 徐慧, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定动物源性食品中 6 种抗病毒药物残留量[J]. *中国食品卫生杂志*, 2016, 28(4): 456–460.
- Liu C, Chen Y, Xu H, *et al.* Determination of 6 antiviral drugs in animal derived food by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Food Hyg*, 2016, 28(4): 456–460.
- [4] Chen DW, Miao H, Zhao YF, *et al.* Dispersive micro solid phase extraction of amantadine, rimantadine and memantine in chicken muscle with magnetic cation exchange polymer [J]. *J Chromatogr B*, 2017, 1051: 92–96.
- [5] Cui SJ, Feng F, Liu H, *et al.* New method for high-performance liquid chromatographic determination of amantadine and its analogues in rat plasma [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2007, 44: 1100–1105.
- [6] 云环, 崔凤云, 严华, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定鸡肉中的利巴韦林和金刚烷胺[J]. *色谱*, 2013, 31(8): 724–728.
- Yun H, Cui FY, Yan H, *et al.* Determination of ribavirin and amantadine in chicken by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Chromatogr*, 2013, 31(8): 724–728.
- [7] 易锡斌, 裘立群, 刘世琦, 等. 液相色谱-串联质谱同时测定禽肉组织中盐酸金刚烷胺、盐酸金刚乙胺、地塞米松、替米考星及唑乙醇代谢物的残留量[J]. *分析测试学报*, 2015, 34(3): 346–351.
- Yi XB, Qiu LQ, Liu SQ, *et al.* Simultaneous determination of amantadine hydrochloride, rimantadine hydrochloride, dexamethasone, tilmicosin and olaquinox metabolite residues in poultry tissues by high performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry [J]. *J Instrum Anal*, 2015, 34(3): 346–351.
- [8] 尹晖, 孙雷, 毕言锋, 等. 鸡肉和鸡蛋中金刚烷胺与金刚乙胺残留检测 UPLC-MS/MS 法研究[J]. *中国兽药杂志*, 2014, 48(6): 32–35.
- Yin H, Sun L, Bi YF, *et al.* Determination of amantadine and rimantadine residue in chicken muscle and egg by UPLC-MS/MS [J]. *Chin J Vet Drug*, 2014, 48(6): 32–35.
- [9] 汤晓艳, 陈东宇, 周剑, 等. 液相色谱-串联质谱法检测鸡蛋中金刚烷胺残留[J]. *中国食品学报*, 2014, 2014, 14(9): 190–194.
- Tang XY, Chen DY, Zhou J, *et al.* Determination of amantadine in eggs by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2014, 14(9): 190–194.
- [10] 艾连峰, 马育松, 陈瑞春, 等. 在线净化液相色谱串联质谱法测定动物源性食品中金刚烷胺的残留[J]. *分析化学*, 2013, 41(8): 1194–1198.
- Ai LF, Ma YS, Chen RC, Determination of amantadine residues in foods of animal origin by on-line cleanup liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Anal Chem*, 2013, 41(8): 1194–1198.
- [11] 邹宇, 张亚杰, 姜雯. 超高效液相-飞行时间质谱法测定鸡肉组织中金刚烷胺残留[J]. *药物分析杂志*, 2014, 34(7): 1247–1250.
- Zou Y, Zhang YJ, Jiang W, *et al.* Determination of amantadine residues in chicken tissue by UPLC-QTOF [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2014, 34(7): 1247–1250.
- [12] 王柯, 陈燕, 李晓雯, 等. 液相色谱-四极杆飞行时间质谱法同时测定动物源性食品中的 5 种抗病毒类药物[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(7): 2720–2726.
- Wang K, Chen Y, Li XW, *et al.* Simultaneous determination of 5 kinds of antiviral drug residues in animal-derived food by high performance liquid chromatography-quadrupole-time of flight mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(7): 2720–2726.
- [13] Yan H, Liu X, Cui F Y, *et al.* Determination of amantadine and rimantadine in chicken muscle by QuEChERS pretreatment method and UHPLC coupled with LTQ Orbitrap mass spectrometry [J]. *J Chromatogr B*, 2013, 938: 8–13.
- [14] DB32/T 1163-2007 鸡肝中金刚烷胺残留量的测定 液相色谱-串联质谱法[S].
- DB32/T 1163-2007 Determination of amantadine residues in chicken liver-Liquid chromatography-tandem mass spectrometry method [S].

(责任编辑: 姜 珊)

作者简介



仲伶俐, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为食品质量安全。

E-mail: 17916029@qq.com



郭灵安, 副研究员, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: gla028@163.com